

Новый индукционный датчик тока для систем управления устройствами тягового электроснабжения

*Амиров Султан Файзуллаевич, д.т.н., профессор
Рустамов Дилшод Шавкатович, д. ф. (PhD), и.о. доцент
Равшанов Нодир Бахтиярович магистрант*

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта.

Аннотация

Приведена новая конструкция электромагнитного датчика больших постоянных и переменных токов с расширенными функциональными возможностями для систем контроля и управления устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог и проанализирована его нелинейная магнитная цепь с продольным намагничиванием на основе аппроксимации кривой намагничивания. Показано, что чувствительность разработанного датчика зависит от величин рабочего воздушного зазора и индукции модулирующего магнитного поля.

Ключевые слова: конструкция электромагнитного датчика тока, кривая намагничивания, аппроксимация, чувствительность, рабочий воздушный зазор.

The new induction sensor current for control systems of equipment of traction electro supply.

Amirov S.F.

Rustamov D.Sh.

Ravshanov N.B.

Abstract.

The new design of the electromagnetic sensor of large direct and alternating currents with expanded functionality for control and management systems of devices of power supply of the electrified railways is given and its nonlinear magnetic chain with longitudinal magnetization on the basis of approximation of a curve of magnetization is analyzed. It is shown that sensitivity of the developed sensor depends on sizes of a working air gap and induction of a modulating magnetic field.

Keywords: design of the electromagnetic sensor current, magnetisation curve, approximation, sensitivity, working air gap.

Введение. Важнейшей задачей тягового электроснабжения является бесперебойное обеспечение электрической энергией потребителей всех категорий. Для обеспечения надежной и экономичной работы устройств тягового электроснабжения широкое применение в виде АСКУЭ и СКАДА - системы нашли современные микропроцессорные вторичные системы энергетики - системы измерения и контроля, управления и регулирования, релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗ и ПА).

Будучи сравнительно недорогими, они позволяют сохранять основное дорогостоящее силовое оборудование и позволяют решать задачи эффективного использования энергетических ресурсов. При этом первичная информация об электрических параметрах (токах и напряжениях) объектов являются исходными, на основе которых они реализуют свои функциональные возможности.

Методика исследований. Данная работа посвящена решения следующих вопросов.

Результаты исследований.

Статья посвящена вопросам разработки индукционного датчика тока, отвечающего требованиям АСКУЭ и СКАДА – системы тягового электроснабжения.

Известны варианты датчиков тока, содержащие токопроводящую шину, проходящую через магнитопровод, выполненный в виде двух С-образных параллельно расположенных секций, соединенных между собой двумя ферромагнитными соединительными элементами, имеющими прямоугольные вырезы (в виде стержневой пары) с модулирующими и выходными обмотками в одном варианте, а также с чувствительными элементами. Холла, расположенными в воздушном зазоре между соединительными элементами в другом варианте [1].

Но эти датчики тока требуют для уменьшения погрешности элементов Холла специальную систему теплоотвода и меры электромагнитной защиты, что увеличивает их массогабаритные показатели и стоимость, а также из-за ограничения размера выреза в соединительных элементах не позволяет получить на выходе сигнал достаточной мощности при одновременном подключении устройств измерения, релейной защиты и автоматики, что требует введения дополнительного элемента (усилителя мощности).

В данной статье поставлена задача – расширение функциональной возможности, уменьшение веса датчика и повышение точности датчика постоянного и переменного токов при максимально допустимых значениях параметров нагрузки.

На рис.1 показана конструктивная схема датчика тока. Датчик тока состоит из двух С-образных параллельно расположенных секций магнитопровода 1 и 2 с вырезами (в виде стержневой пары) по профили (см. рис.1), соединенных между собой двумя ферромагнитными соединительными элементами 3 и 4, выполненными с прямоугольными вырезами (в виде стержневой пары), параллельность которых сохраняется с помощью клинов из изоляционного материала 5 и 6, токопроводящей шины 7, модулирующей обмотки 8, расположенной равномерно на каждой стержневой паре С-образных секций и соединительного элемента, трех измерительных (выходных) обмоток 9, 10, 11, охватывающих одновременно стержневых пар двух С-образных секций и соединительного элемента.

На одном из ферромагнитных соединительных элементов с прямоугольным вырезом (в виде стержневой пары) 3 равномерно намотана модулирующая обмотка 8(см.рис.2), имеющая двух составляющих витков, соединенных между собой последовательно-согласно, питающийся переменным напряжением U_M и создающий модулирующий переменный магнитный поток Φ_M , изменение которого по времени от каждой составляющих витков равны и противоположны по направлению, поэтому на выходе выходной обмотки 11 не появляется ЭДС.

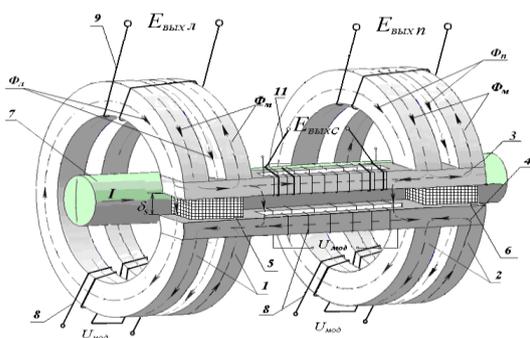


Рис. 1. Конструктивная схема разработанного индукционного датчика тока

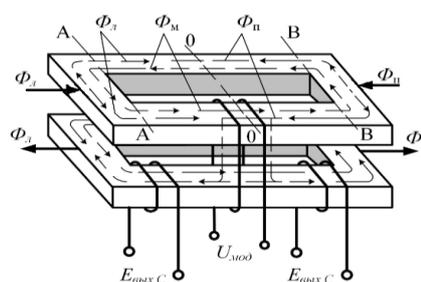


Рис.2. Общий вид ферромагнитных соединительных элементов 3 и 4 с модулирующими и измерительными обмотками.

От потоков Φ_l , Φ_n , $\Delta\Phi_l$ и $\Delta\Phi_n$ в выходных обмотках 9, 10, 11 (обмотка 11 состоит из двух частей, расположенных на отрезках А-А и В-В и соединенных между собой последовательно) преобразователя возникают ЭДС равные соответственно:

$$E_{\text{вых}l} = K_l I_x; \quad E_{\text{вых}n} = K_n I_x; \quad E_{\text{вых}c} = K_c I_x.$$

где: K_l , K_n , K_c – коэффициенты преобразования датчика тока соответственно левой и правой С-образных секций и соединительного элемента, которые определяются числом витков выходных обмоток. По условиям эксплуатации коэффициенты K_l и K_n могут быть установлены: $K_l = K_n$, $K_l > K_n$ или $K_l < K_n$.

Расширение функциональных возможностей достигается тем, что предлагаемое конструктивное выполнение датчика позволяет измерять как постоянный так и переменный токи, а также использовать три выходных обмоток, не имеющих между собой магнитоиндуктивных связей для его подключения к схемам измерения, релейной защиты и автоматики.

Кроме того, выполнение вырезов в двух С-образных секциях магнитопровода преобразователя позволяет уменьшить его вес.

Если выходной сигнал требуется в унифицированном виде, то для этого можно предусмотреть подключение известных электронных (выпрямительных) схем ко выходным обмоткам соединительного элемента преобразователя в обоих видах преобразования.

Вместе с этим вышеописанный датчик тока имеет следующий недостаток: воздушный зазор δ между ферромагнитными соединительными элементами 3 и 4 определяется толщиной модулирующей 8 и измерительной обмоток 11 и он имеет сравнительно большое значение. Это существенно снижает чувствительность датчика тока.

С целью повышения и обеспечения регулирования чувствительности датчика за счет обеспечения возможности изменения воздушного зазора δ практически от нуля до некоторого значения, модулирующая 8 и измерительная 11 обмотки намотаны так, что они одновременно охватывают верхнюю и нижнюю параллельные стержни ферромагнитных соединительных элементов 3 и 4 (рис.2). Благодаря отсутствию обмотки в зазоре между параллельными стержнями ферромагнитных соединительных элементов 3 и 4 зазор δ может быть уменьшен практически до нуля.

С целью определения аналитического выражения статической характеристики и чувствительности разработанного индукционного датчика тока исследована его магнитная цепь, которая представляет собой магнитомодуляционную нелинейную цепь с продольным намагничиванием. Для аппроксимации зависимости удельного магнитного сопротивления материала магнитопровода (стали) ρ_μ от магнитной индукции B , которая изменяется в пределах (0,2 – 1,2) Тл, с достаточной точностью для практики можно использовать формулу с шестой степенью магнитной индукции, т.е.:

$$\rho_\mu = \rho_{\mu 0} + KB^6, \quad (1)$$

где $\rho_{\mu 0}$ - начальное значение удельного магнитного сопротивления при $B = 0,2$ Тл; K - коэффициент аппроксимации.

В результате решения нелинейного дифференциального уравнения для участка магнитной цепи с ферромагнитными соединительными элементами рассматриваемого

датчика тока с учетом (1) получено аналитическое выражение чувствительности (рис.3):

$$S = \frac{3\sqrt{42}\omega KB_M^6 W_{из} \ell_M}{8(\rho_{\mu 0} \frac{\ell_{\mu}}{S_{\mu}} + \rho_{\mu} \frac{\ell_M}{S_M} + \frac{\delta}{\mu_0 S_{\delta}})^2 S_M}, \quad (2)$$

где ℓ, ℓ_M, δ и S, S_M, S_{δ} - длина и поперечные сечения соответственно немодулируемой, модулируемой и воздушной частей магнитной цепи; $W_{из}$ - число витков измерительной обмотки.

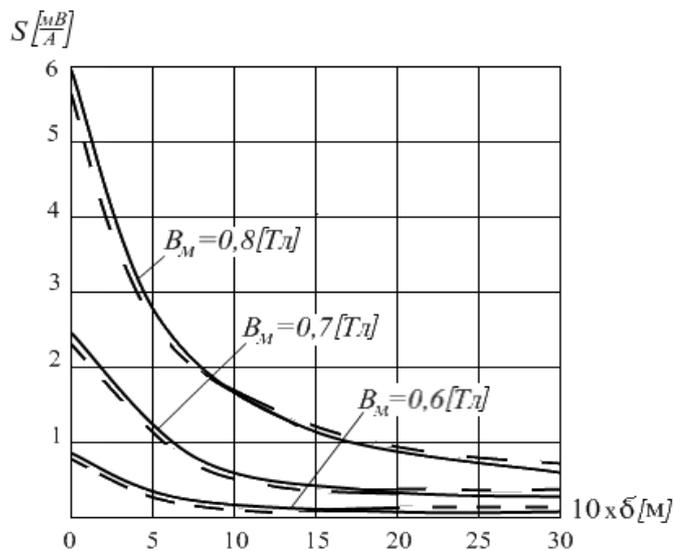


Рис.3. Кривые зависимости чувствительности от рабочего воздушного зазора при различных значениях индукции модулирующего магнитного поля: сплошные линии – расчетные; пунктирные линии – экспериментальные..

Анализ выражения чувствительности и его кривых показал, что при прочих равных условиях магнитная индукция модулирующего поля B_M и величина рабочего воздушного зазора δ магнитной цепи являются наиболее характеризующими факторами: чем меньше δ и чем больше B_M , тем выше чувствительность разработанного датчика тока.

Таким образом, в статье показано, что разработанный датчик тока имеет расширенные функциональные возможности – он может измерять как постоянный так и переменный токи, а также иметь три выходных обмоток, не имеющих между собой магнитоиндуктивных связей для его подключения к схемам измерения, релейной защиты и автоматики.

Список литературы:

1. Сафаров А.М. Ферромагнитные преобразователи систем управления электрохимическими процессами на постоянном токе: Автореф. дис.... канд. техн. наук. – Ташкент, ТашПИ, 1989. – 18 с.
2. Патент РУз. №04217. Устройство для преобразования тока/ Амиров С.Ф., Сафаров А.М., Турдыбеков К.Х., Рустамов Д.Ш., Хушбоков Б.Х. // Расмий ахборотнома. – 2010. – №8.
3. Амиров С.Ф., Сафаров А.М., Рустамов Д.Ш. Электромагнитный датчик тока для систем управления устройствами тягового электроснабжения // Кимёвий технология. Назорат ва бошқарув. – Ташкент, 2012 – № 4. – С. 26-31.